자속-자화 전류 곡선과 전압-철손 전류 곡선을 이용한 측정용 철심 변류기의 보상 알고리즘 개발

논 문
58-10-3

Development of a Compensating Algorithm for an Iron-cored Measurement CT using Flux-magnetizing Current Curves and Voltage-core Loss Current Curves

강 용 철* · 정 태 영† · 강 해 권** · 이 병 은*** · 김 용 균§
(Yong-Cheol Kang · Tai-Ying Zheng · Hae-Gweon Kang · Byung-Eun Lee · Yong-Gyun Kim)

Abstract - This paper describes the design, evaluation and implementation of a compensating algorithm for an iron-cored measurement current transformer (CT) that removes the effects of the hysteresis characteristics of the iron-core. The exciting current resulting from the hysteresis characteristics of the core causes an error of the CT. The proposed algorithm decomposes the exciting current into the core loss current and the magnetizing current and each of them is estimated. The core loss current is calculated from the secondary voltage and the voltage-core loss current curve. The core flux linkage is calculated and then inserted into the flux-magnetizing current curve to estimate the magnetizing current. The exciting current at every sampling interval is obtained by summing the core loss and magnetizing currents and then added to the measured current to obtain the correct secondary current. The voltage-core loss current curve and flux-magnetizing current curves, which are different from the conventional curves, are derived in this paper. The performance of the proposed algorithm is validated under various conditions using EMTP generated data. The experimental test results of an iron-core type electronic CT, which consists of the iron-core and the compensation board, are also included. The results indicate that the proposed algorithm can improve the accuracy of the measurement CT significantly, and thus reduce the size and the cost of the CT.

Key Words : Flux-magnetizing current curve, Voltage-core loss current curve, Compensating algorithm, Current transformer, Hysteresis characteristics

1. 서 론

계량기, 보호 계전기 등의 기기에 축소한 전류를 제공하기 위해 변류기(Current transformer, CT)를 사용한다[1]. 변류기의 특성은 코어의 재질에 따라 다르다. 1차 전류와 2차 전류사이의 쇄교 자속을 최대화하기 위하여 보편적으로 철심코어를 사용한다.

변류기는 용도에 따라 보호용 변류기와 측정용 변류기로 구분된다. 보호용 변류기의 변류된 전류는 보호계전기의 입력으로 사용되기 때문에 사고 전류를 정확하게 변류하여야 하며, 사고 전류로 인한 변류기 포화를 막기 위해 과전류 정수를 20 또는 40으로 설계한다. 한편, 측정용 변류기는 정상상태 시, 그리드의 운전 상태를 파악하기 위해 전류를 변류하여 계량기 등의 입력으로 사용한다. 따라서 고정밀 데이터를 취득해야 하지만, 철심 코어의 히스테리시스 특성으로 인하여 비정현파인 여자 전류가 발생되고, 이는 측정용 변류기 오차의 주된 원인이 된다. 이러한 오차를 감소하기 위하여 투자율이 좋은 코어를 사용하거나 코어의 단면적을 증가시키는 방법을 사용한다. 하지만, 이로 인하여 변류기의 제작 단가를 증가시킬 뿐만 아니라 변류기의 크기도 커지는 단점이 있다.

측정용 철심 변류기의 오차를 감소하기 위한 보상 알고리즘이 제안되었다[2-4]. 참고 문헌 [2]에서는 철심 변류기 2차 측에 아날로그 회로를 연결하여 자화 전류를 보상한다. 이 방법은 정상상태에서 사용되는 보상 방법이며, 주파수 영역 해석 방법이다. 따라서 여자전류의 비선형 특성이 고려되지 않았으며 과도상태 시, 과전류로 인한 기기의 소손을 가져올 수 있다. 철심 변류기의 오차를 감소하기 위한 디지털 보상방법[3], [4]는 히스테리시스 루프를 사용하여 여자전류를 추정하고, 이 전류를 측정된 2차 전류에 더함으로써 시간 영역에서 보상 전류를 구하는 방식이다. 이는 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려했기 때문에 변류기의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 하지만 1차 전류에 dc옵셋 성분 또는 고조파가 포함된 경우에는 오차가 커지는 단점이 있다.

본 논문에서는 자속-자화 전류 곡선과 전압-철손 전류 곡선을 이용한 측정용 철심 변류기의 보상 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 계산한 철손 전류와 자화 전류를 더하여 여자 전류를 구하고, 이를 측정된 2차 전류에 더해줌으로써 보상전류를 구한다. 자화 전류는 계산된 자속과 자속-자화 전류(λ-i_m) 곡선을 사용하여 얻을 수 있고, 철손 전류는 측정된 2차 전압과 전압-철손 전류(v-i_c) 곡선을 사용하

* 정 회 원 : 전북대 대학원 전기공학과 부교수 · 공박
† 교신저자, 정회원 : 전북대 대학원 전기공학과 박사과정
E-mail : huanxiong417@hotmail.com
** 준 회 원 : 전북대 대학원 전기공학과 석사과정
*** 정 회 원 : 전북대 대학원 전기공학과 박사과정
§ 비 회 원 : 한국IED Eng. 대표이사
접수일자 : 2009년 8월 14일
최종완료 : 2009년 9월 4일

여 얻을 수 있다. EMTP와 실제 변류기 실험을 통하여 제안한 방법의 성능을 검증하였다.

2. 측정용 철심 변류기의 보상 알고리즘

2.1 철심 변류기의 등가 회로

그림 1은 2차 측으로 환산한 철심 변류기의 등가회로를 나타낸다. i_1은 2차 측으로 환산한 1차 전류, i_2는 2차 전류, i_0은 여자 전류, i_m은 자화 전류, i_c는 철손 전류를 나타낸다. R_b는 변류기 2차 부담, v_2는 2차 전압을 나타낸다. L_m은 자화 인덕턴스를 나타내고, 자속과 자화 전류 사이의 비선형 관계로 표현된다. R_c는 히스테리시스 손실과 와류손의 조합으로 이루어진 철손 저항이다.

여자 전류는 자화 전류와 철손 전류로 나눌 수 있고, 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$i_0(t) = i_m(t) + i_c(t) \tag{1}$$

그림 2는 여자 전류, 철손 전류, 자화 전류의 한주기 파형을 나타낸다. 실선은 여자 전류, 점선은 철손 전류, 쇄선은 자화 전류를 나타낸다.

2차 측으로 환산한 1차 전류는 식 (2)와 같이 측정된 2차 전류와 여자 전류의 합으로 나타낼 수 있다.

$$i_1(t) = i_2(t) + i_0(t) \tag{2}$$

따라서 여자 전류를 정확하게 추정하여 보상하면 정확한 1차 전류를 얻을 수 있다.

2.2 λ-i_m 곡선과 v-i_c 곡선

λ-i_m 곡선과 v-i_c 곡선을 구하기 위해서는 코어의 자속과 여자 전류의 관계가 필요하다. 먼저, 여자 전류를 철손 전류와 자화 전류로 나눈다. 다음으로 철손 전류는 전압과 v-i_c 곡선으로부터 계산하고, 자화 전류는 계산된 자속을 λ-i_m 곡선에 대입하여 구한다.

v-i_c 곡선과 λ-i_m 곡선은 측정된 히스테리시스 루프로부터 구할 수 있다. 그림 3의 실선은 정격 전류에서 측정한 히스테리시스 루프를 나타낸다. 본 논문에서 히스테리시스 루프는 EMTP 보조루틴인 HYSDAT을 이용하여 생성 하였다. 그림 3에서, $A(i_A, \lambda_0)$와 $B(i_B, \lambda_0)$는 히스테리시스 루프 상에서 $\lambda=\lambda_0$ 일 때, 각각 증가하는 곡선과 감소하는 곡선에서의 한 점을 나타낸다. 점 A, B와 같은 가로축상의 가운데 점 $M(i_m, \lambda_0)$은 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$i_m = \frac{i_A + i_B}{2} \tag{3}$$

그림 3의 쇄선으로 표현된 λ-i_m 곡선은 λ_{min}에서 λ_{max}까지의 모든 점 M을 연결 시켜 구할 수 있다. 이러한 방법으로 구한 λ-i_m 곡선은 참고문헌 [5]에서 구한 기존의 자화 곡선과 다르다. 참고문헌 [5]에서 자화곡선은 히스테리시스 루프의 정점을 연결한 궤적이다.

여자 전류 i_0은 철손 전류 i_c와 i_m의 합이고, 따라서 i_c는 식 (4)와 같이 i_0와 i_m의 차이로 계산 할 수 있다.

$$i_c = i_0 - i_m = i_A - \frac{i_A + i_B}{2} = \frac{i_A - i_B}{2} \tag{4}$$

기하학적으로, i_c의 크기는 그림 3의 점 M으로부터 점 A 또는 점 B까지의 수평거리로 볼 수 있다. 이런 방법으로 변

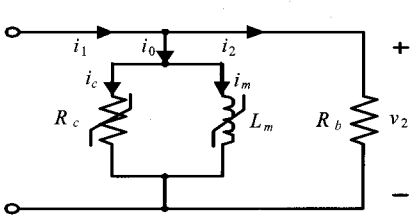


그림 1 철심 변류기의 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit of an iron-cored CT

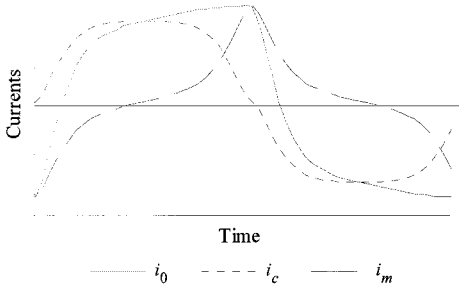


그림 2 여자 전류, 철손 전류, 자화 전류
Fig. 2 Exciting, core loss and magnetizing currents

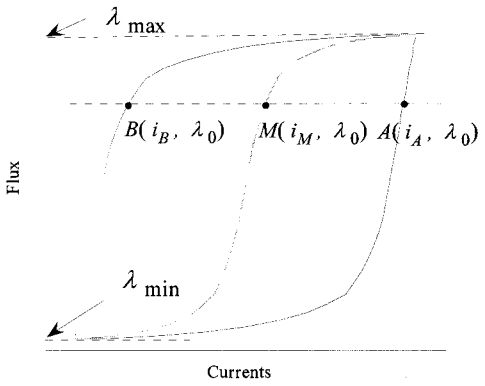


그림 3 측정한 히스테리시스 루프 (λ-i_0 곡선)와 λ-i_m 곡선
Fig. 3 Measured hysteresis loop (λ-i_0 curve) and λ-i_m curve

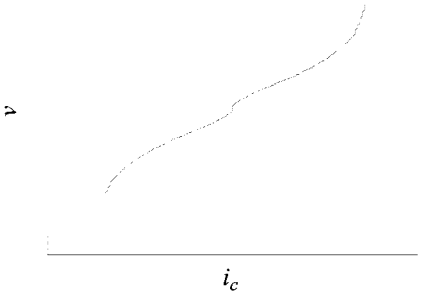


그림 4 v-i_c곡선
Fig. 4 v-i_c curve

수 λ에 대응되는 i_c를 구하여 λ-i_c 곡선을 얻을 수 있다. 그런데 앞서 구한 λ-i_m 곡선이 일대일 대응 함수 인 반면, 위와 같은 방법으로 구한 λ-i_c 곡선에서 한 λ에 대응되는 i_c는 두 값을 갖는다. 따라서 본 논문에서는, λ-i_c 곡선으로부터

구한 v-i_c 곡선을 사용한다. 그림 4에서 나타낸 v-i_c 곡선은 λ-i_m 곡선과 마찬가지로 일대일 대응 함수 이다.

2.3 제안한 철심 변류기의 보상 알고리즘

보상한 전류 i_2^*는 i_0와 i_2를 더하여 계산 할 수 있다. 이 때, i_0는 i_c와 i_m을 더하여 구한다.

i_c는 v_2를 v-i_c 곡선에 대입하여 구하고, v_2는 식 (5)를 이용하여 계산한다.

$$v_2(t) = R_b i_2(t) \tag{5}$$

i_m은 λ를 λ-i_m 곡선에 대입하여 구하고, λ는 v_2를 적분하여 식 (6)과 같이 계산한다.

$$\lambda_2(t) = R_b \int_{t_0}^{t} i_2(t)dt + \lambda(t_0) \tag{6}$$

여기서 $\lambda(t_0)$는 참고문헌 [6]에 나타낸 방법을 이용하여 구한 자속의 초기값이다.

이렇게 구한 i_0와 i_2를 식 (7)과 같이 더함으로써 정확한 전류를 구할 수 있다.

$$i_2^*(t) = i_0(t) + i_2(t) \tag{7}$$

3. 사례 연구

3.1 모델 계통

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 5와 같은 154kV의 2모선 송전 시스템을 모의 하였다. 샘플링 비율은 주기 당 64 샘플이고, 그리드의 주파수는 60Hz이다. 저역통과 필터로는 컷옵 주파수가 1,920Hz인 중첩방지용 1차 RC 필터를 사용하였다.

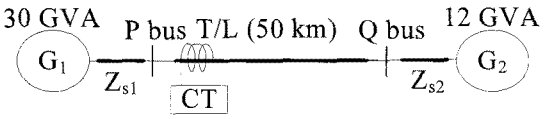


그림 5 모델 계통

Fig. 5 Model system

표 1 IEC 60044-8의 측정용 변류기 오차 제한 규정

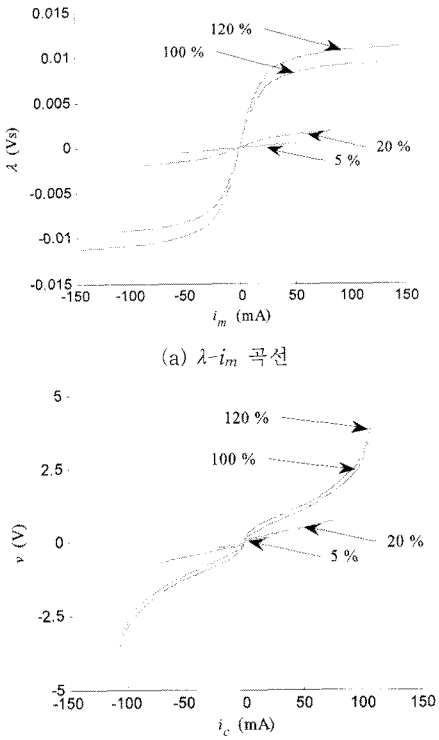
Table 1 Limits of error for measurement CT of IEC 60044-8

오차 등급	± 전류 오차 (%)				± 위상오차 (분)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30
1.0	3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60

표 2 사례 연구 결과

Table 2 Results of case study

사례	1.0급		0.1급		보상 안함		보상 함	
	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)
사례 1	±1.0	±60	±0.1	±5	-1.49	30.31	-0.012	-0.11
사례 2	±1.0	±60	±0.1	±5	-1.71	33.42	-0.003	-0.24
사례 3	±1.5	±90	±0.2	±8	-4.95	167.98	-0.021	-1.85
사례 4	±3.0	±180	±0.4	±15	-6.12	456.02	-0.034	-1.32

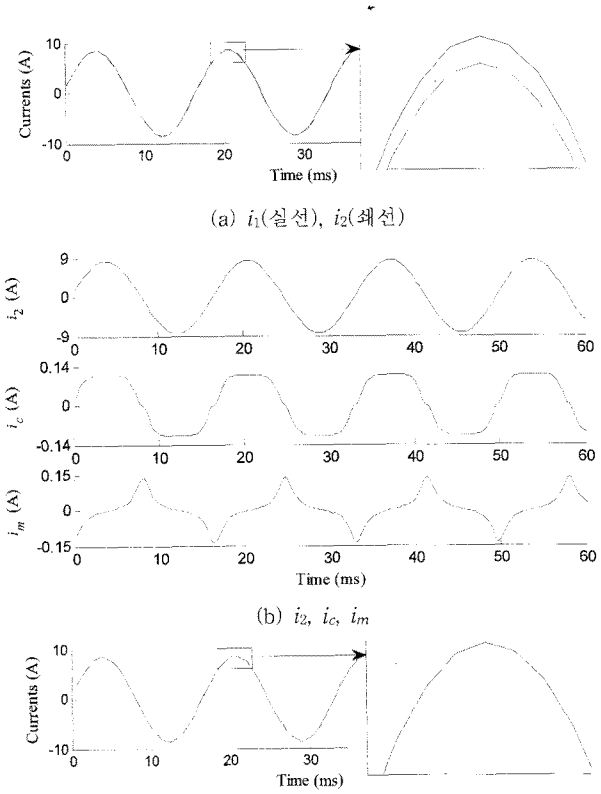


(a) λ-i_m 곡선

(b) v-i_c 곡선

그림 6 λ-i_m 곡선과 v-i_c 곡선

Fig. 6 λ-i_m curves and v-i_c curves



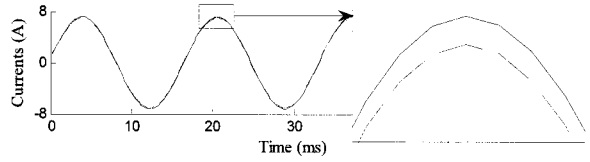
(a) i_1(실선), i_2(쇄선)

(b) i_2, i_c, i_m

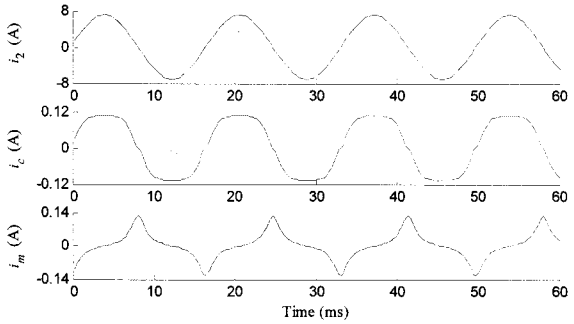
(c) i_1(실선), i_2^*(점선)

그림 7 사례 1의 결과

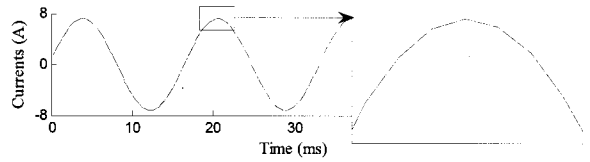
Fig. 7 Results for case 1



(a) i_1(실선), i_2(쇄선)



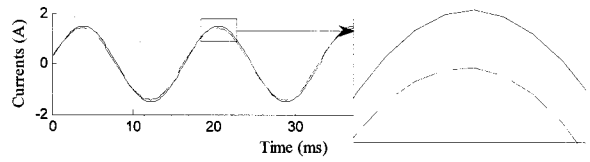
(b) i_2, i_c, i_m



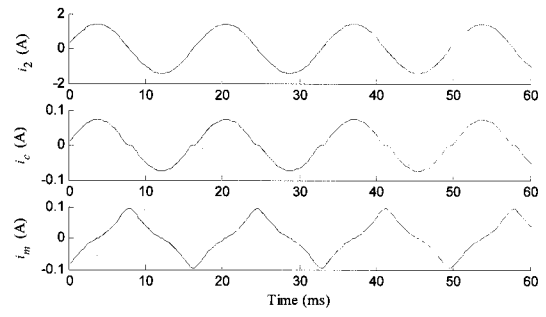
(c) i_1(실선), i_2^*(점선)

그림 8 사례 2의 결과

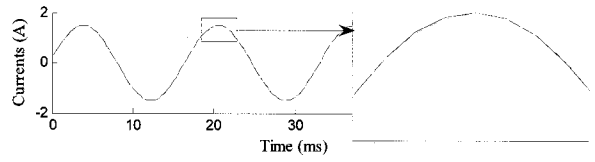
Fig. 8 Results for case 2



(a) i_1(실선), i_2(쇄선)



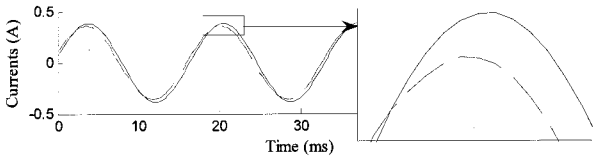
(b) i_2, i_c, i_m



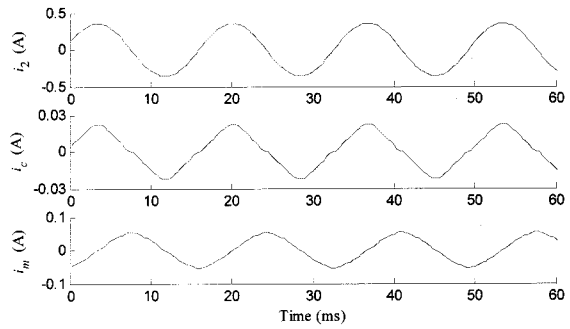
(c) i_1(실선), i_2^*(점선)

그림 9 사례 3의 결과

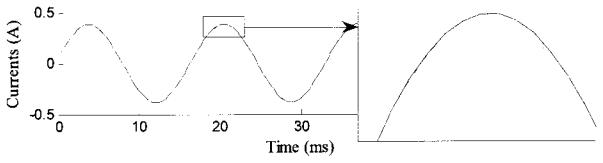
Fig. 9 Results for case 3



(a) i_1(실선), i_2(쇄선)



(b) i_2, i_c, i_m



(c) i_1(실선), i_2^*(점선)

그림 10 사례 4의 결과

Fig. 10 Results for case 4

변류기 코어는 96소자를 이용하여 모델링 하였고, 히스테리시스 특성은 EMTP/ATP의 보조루틴인 HYSDAT를 이용하여 모의하였다[7]. 모의 시스템에서 변류기의 포화점은 0.02Vs, 2.047A, 변류비는 100/5A이다. 2차 부담은 정격 부담인 12.5VA(0.5Ω)의 순수 저항을 사용 하였다.

표 1은 국제 규격인 IEC 60044-8[8]에서 정하고 있는 오차 제한 등급을 나타낸다. 제안한 알고리즘의 성능을 정격 전류의 120%, 100%, 20%, 5%에서 모의하여 표 1의 규격과 비교 분석 하였다. 오차 제한 등급을 만족하기 위해서는 모든 경우에서 전류의 전류 오차와 위상오차를 동시에 만족해야 한다. 그림 6의 a와 b는 각각 정격 전류의 120%, 100%, 20%, 5%에서 앞서 설명한 방법으로 구한 λ-i_m 곡선과 v-i_c 곡선을 나타낸다.

3.2 모의 사례

사례 1: 정격 전류의 120%

그림 7은 사례 1의 결과를 나타낸다. 그림 7a에서는 1차 전류와 2차 전류를 각각 실선과 쇄선으로 나타냈고, 결과를 자세히 나타내기 위해 파형을 확대하여 나타냈다. 1차 전류와 측정한 2차 전류가 일치하지 않음을 알 수 있다. 그림 7b는 2차 전류 i_2, 계산한 철손 전류 i_c, 계산한 자화 전류 i_m를 나타낸다. 그림 7c에서는 보상한 전류를 점선으로 나타냈다. 보상한 2차 전류는 실선으로 나타낸 1차 전류와 거의 일치함을 알 수 있다. 보상 하지 않은 경우와 비교 했을 때, 보상한 전류의 전류 오차는 -1.49%에서 -0.012%로, 위상 오차는 30.31분에서 -0.11분으로 감소하였다.

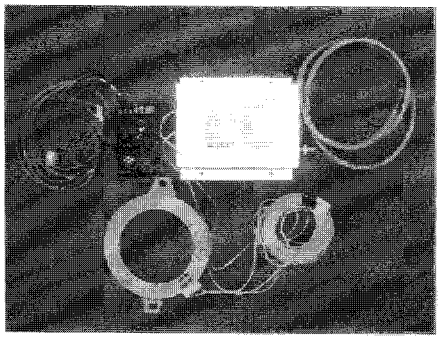
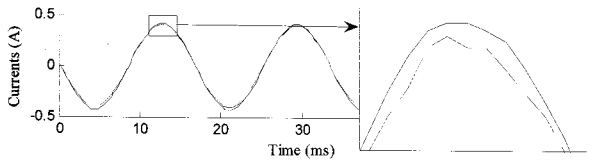
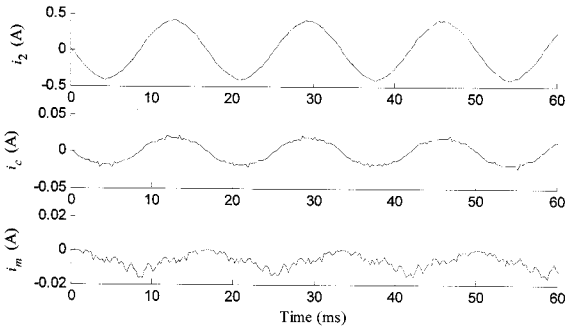


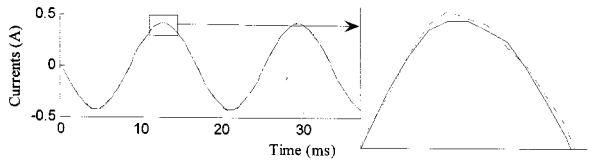
그림 11 전자식 변류기의 실험 세트
Fig. 11 Experimental set of ECT



(a) i_1(실선), i_2(쇄선)



(b) i_2, i_c, i_m



(c) i_1(실선), i_2^*(점선)

그림 12 사례 8의 결과
Fig. 12 Results for case 8

사례 2, 사례 3, 사례 4는 각각 정격 전류의 100%, 20%, 5%의 경우를 모의 하였고, 각 사례의 결과는 그림 8, 9, 10에 나타냈다. 표 2는 각 사례에 대해 보상하지 않은 전류와 보상한 전류의 전류 오차와 위상오차를 비교하였다. 사례연구 결과, 제안한 알고리즘을 적용한 경우에서는 IEC에서 규정한 0.1급의 오차 제한 규정을 만족 하여 변류기의 정밀도가 향상되었다.

4. 실제 변류기 실험

4.1 실험 구성

그림 11은 제작한 100A정격의 철심 코어형 전자식 변류기(Electronic Current Transformer, ECT)의 실험 세트을 나타낸다. ECT는 철심 변류기와 제안한 보상 알고리즘이 적용된 보드로 구성 되어 있다. ECT의 출력은 디지털, 아날로그 신호로 출력 할 수 있지만, 디지털 출력은 현재 한국에서 검증 할 수 없기 때문에 아날로그 출력을 사용 하였다. 정격 지연 시간은 -648분이고, 샘플링 비율은 주기 당 64샘플이며, 컷옵 주파수가 1920Hz인 1차 저역통과 RC 필터가 사용 되었다.

표 3 실험의 결과
Table 3 Results of test

사례	1.0급		0.2급		보상 안함		보상 함	
	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)	전류 오차 (%)	위상 오차 (분)
사례 5	±1.0	±60	±0.2	±10	-1.92	-24.87	-0.15	0.26
사례 6	±1.0	±60	±0.2	±10	-2.16	-27.03	-0.1	0.86
사례 7	±1.5	±90	±0.35	±15	-4.74	-25.67	0.0013	-0.67
사례 8	±3.0	±180	±0.75	±30	-4.44	35.17	0.26	-8.47

표 4 변류기 예상 제작단가
Table 4 Expected production cost of a CT

사용 전압	오차 등급	코어 종류	예상 가격 (원)	코어 크기(mm) (내경×외경×높이)	부담 (VA)
22.9kV	1.0	니켈	2,700,000	170×225×80	15
		철심	1,000,000	170×225×350	15
	0.2	니켈	10,200,000	170×225×330	15
		철심	—	제작불가	15

4.2 실험 결과

사례 8: 정격 전류의 5%

그림 12는 정격 전류의 5%인 경우의 실험 결과를 나타낸다. 그림 12a에서는 1차 전류와 2차 전류를 각각 실선과 쇄선으로 나타냈고, 결과를 자세히 나타내기 위해 파형을 확대하여 나타냈다. 그림 12b는 i_2, i_c, i_m을 나타낸다. 그림 12c에서는 보상한 전류를 점선으로 나타냈다. 보상한 2차 전류는 실선으로 나타낸 1차 전류와 매우 유사함을 알 수 있다. 보상 하지 않은 경우와 비교 했을 때, 보상한 전류의 전류 오차는 -4.44%에서 0.26%로, 위상 오차는 35.17분에서 -8.47분으로 감소하였다. 보상 하지 않은 경우 2.0급에서 보상한 경우 0.2급으로 오차등급이 향상되었다.

표 3은 사례 5-8의 결과 즉, 정격 전류의 120%, 100%, 20%, 5%인 경우, 보상 하지 않은 경우와 보상 한 경우 오차를 나타낸다. 이 실험 결과는 실제 철심 코어형 변류기의 오차를 크게 감소 시켜, IEC 규격 0.2급의 정밀도를 만족시킴을 알 수 있다[8]. EMTP 시뮬레이션 결과와 비교했을 때, D/A 및 A/D 변환 과정에서 발생하는 노이즈와 실제 실험에서 고려되는 각종 노이즈가 정밀도에 영향을 미침을 알 수 있다.

표 4는 정격 전압 22.9kV에서 100/5A 측정용 변류기의 예상 제작 단가와 코어의 크기를 나타낸다. 변류기의 가격은 투자율과 코어의 크기에 의해 결정된다. 표 4에서, 철심 코어의 가격은 기를 코어 보다 저렴하지만, 낮은 투자율 때문에 크기가 더 큼을 알 수 있다. 또한, 철심 코어의 경우 0.2급을 만족하려면 코어의 크기가 너무 커져서 실질적으로 불가능하고, 기를 코어의 경우 0.2급의 크기는 1.0급 보다 4배 정도 크다. 1.0급의 철심 변류기에 제안한 보상 알고리즘을

적용해 본 결과 0.2급을 만족 시켰다. 실제로 보드를 제작해 본 결과, 0.2급인 기를 코어 변류기의 제작 단가보다 1.0급인 철심 변류기와 제작한 보상 알고리즘이 적용된 보드의 가격이 저렴하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 자속-자화 전류 곡선과 전압-철손 전류 곡선을 이용한 측정용 철심 변류기의 보상 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 자화 전류와 철손 전류를 측정한 2차 전류에 더하여 정확한 전류를 구한다. 여기서 자화 전류는 2차 전류를 적분하여 자속을 계산한 후, 자속을 λ-i_m 곡선에 대입하여 구하며, 철손 전류는 계산한 전압을 v-i_c 곡선에 대입 하여 구한다.

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 EMTP를 이용한 사례연구 및 전자식 변류기를 이용한 실제 실험을 실시하였다. 검증 결과 제안한 알고리즘은 측정한 2차 전류를 보상하여, 변류기 정격 전류의 5%인 경우에도, 전류 오차와 위상 오차를 크게 감소시켰다.

제안한 알고리즘을 사용하면, 코어의 크기를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 측정용 변류기의 정밀도를 크게 향상 시킬 수 있다. 또한, 투자율이 낮고, 크기가 작은 코어를 사용하여 동일한 정밀도를 만족 시킬 수 있어, 제작 단가를 크게 감소시킬 수 있다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.
(과제번호 : 2006-P-PI-IM-E-01-0000)

참 고 문 헌

[1] S. H. Horowitz, and A. G. Phadke, Power system Relaying, Research Studies Press Ltd, 1992.
[2] D. Slomovitz, "Electronic system for increasing the accuracy of in-service instrument-current transformers," IEEE Trans. Instrumentation and measurement, Vol. 52, No. 2, pp. 408-410, April 2003.
[3] N. Locci, and C. Muscas, "A digital compensation method for improving current transformer accuracy," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15, No. 4, pp. 1104-1109, October 2000.
[4] N. Locci, and C. Muscas, "Hysteresis and eddy currents compensation in current transformer," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 16, No. 2, pp. 154-159, April 2001.
[5] G. R. Slemon, Electric Machines and Drives, Addison-wesley publishing company, INC, 1992.
[6] Y. C. Kang, J. K. Park, S. H. Kang, A. T. Johns, and R. K. Aggarwal, "An algorithm for compensating secondary currents of current transformers," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 116-124, January 1997.
[7] S. N. Talukdar, and J. R. Bailey, "Hysteresis Model for System Studies" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, July/August 1976, pp. 1429-1434.
[8] International standard IEC 60044-8, "instrument transformers - part 8: Electronic current transformers," IEC Std., July 2002.

저 자 소 개

강 용 철 (姜 龍 澈)
1964년 8월 2일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재, 전북대 공대 전기공학과 부교수.
Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394
E-mail : yckang@chonbuk.ac.kr

정 태 영 (鄭 太 英)
1982년 4월 17일생. 2004년 중국 절강대 전기공학과 졸업. 2006년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 전북대 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394
E-mail : huanxiong417@hotmail.com

강 해 권 (姜 海 權)
1982년 5월 16일생. 2008년 전북대 공대 전자정보공학부 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394
E-mail : khgforever@chonbuk.ac.kr

이 병 은 (李 炳 銀)
1975년 11월 7일생. 1999년 전북대 공대 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394
E-mail : mpeclab@chonbuk.ac.kr

김 용 균 (金 容 均)
1973년 7월 4일생. 2000년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 한국IED 대표이사
Tel : 02-529-2113, Fax : 02-571-9207
E-mail : codacoda@naver.com